

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-042923

(43)Date of publication of application : 18.02.1994

(51)Int.Cl.

G01B 11/06

G01B 15/02

H01L 21/66

(21)Application number : 05-129704

(71)Applicant : HUGHES AIRCRAFT CO

(22)Date of filing : 31.05.1993

(72)Inventor : LEDGER ANTHONY M

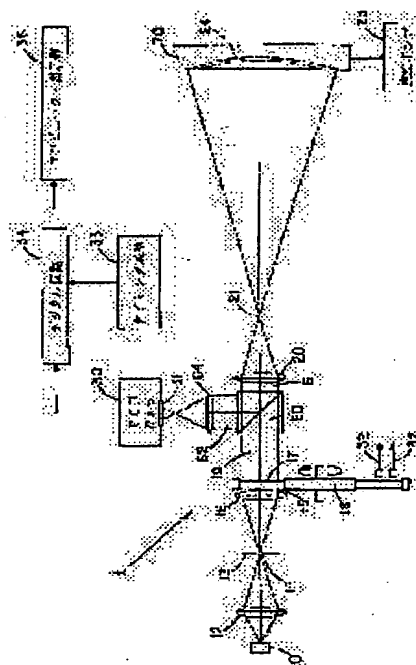
(30)Priority

Priority number : 92 891344 Priority date : 29.05.1992 Priority country : US

**(54) METHOD AND EQUIPMENT FOR MEASURING THICKNESS OF THIN-FILM LAYER BY CAUSING CONDENSER REFLECTOR TO DEFORM THIN-FILM LAYER****(57)Abstract:**

**PURPOSE:** To measure effectively the thickness of a semiconductor wafer by comparing a measured reflectance data with the reference reflectance data of a calibration wafer having a known thickness of the thin-film layer.

**CONSTITUTION:** A beam 15 generated and collimated by a white light source 10, and a lens 16 is filtered through a filter 17 of narrow band to produce a monochromatic beam 19. A lens 20 projects the beam 19 onto a wafer 24, deformed by a spherical vacuum chuck 70. A reflected light is returned back to a focal point 21 and passed through a beam splitter 60 to produce a beam 62. A lens 64 focuses a wavelength-dependent interference fringe pattern image onto a CCD camera detector array 31. Spectral reflectance of a calibration wafer having the known thickness profile of a thin-film layer is stored in a computer 36 and used as a reference for the comparison with the measured spectral reflectance of the wafer 24. A reference spectral reflectance data can also be obtained from theoretical calculation.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 31.05.1993

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2000710

[Date of registration] 20.12.1995

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-42923

(43)公開日 平成6年(1994)2月18日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 B 11/06	G	8708-2F		
15/02	A			
H 0 1 L 21/66	P	8406-4M		

審査請求 有 請求項の数52(全 12 頁)

(21)出願番号 特願平5-129704

(22)出願日 平成5年(1993)5月31日

(31)優先権主張番号 891344

(32)優先日 1992年5月29日

(33)優先権主張国 米国(US)

(71)出願人 390039147

ヒューズ・エアクラフト・カンパニー

HUGHES AIRCRAFT COMPANY

アメリカ合衆国、カリフォルニア州

90045-0066, ロサンゼルス, ヒューズ・

テラス 7200

(72)発明者 アンソニー・エム・レッジー

アメリカ合衆国、コネチカット州 06812、

ニュー・フェアーフィールド、ショートウ

ッズ・ロード 56

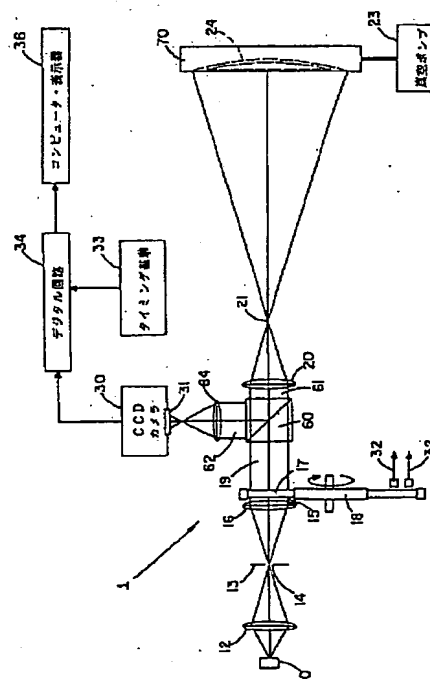
(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54)【発明の名称】 集光反射器に薄膜層を変形させることによって薄膜層の厚さを測定する装置および方法

(57)【要約】

【目的】 本発明は、SOS半導体ウエハ等の薄膜の厚さを全面に亘って迅速に測定する方法および装置を得ることを目的とする。

【構成】 集光反射器に被測定材料の層を変形する真空チャック等の手段70と、単色性光りが材料層の厚さに対応する特徴を有して変形した材料層の前面と後面から反射されるように白色光源10からの光を狭帯域フィルタ17によって単色光にして変形した材料層の前部表面を照射する手段と、反射した単色光を受けて前記特徴を検出するCCDカメラ31等の手段と、既知の厚さに対応する1組の基準特徴と受けた反射した単色光の検出された特徴を比較し、材料層の厚さに対応する出力を生成する手段31, 36とを具備していることを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 前部および後部表面を有し、放射線がそれを透過することが可能な特性を有する材料の層の厚さを測定する装置において、

集光反射器に前記材料の層を変形する手段と、

単色性放射線が前記材料の層の厚さに対応する特徴を有する材料の前記変形した層の前記前部および後部表面から反射されるように単色性放射線によって材料の前記変形した層の前記前部表面を照射する手段と、  
前記反射した単色性放射線を受けて前記特徴を検出する手段と、

既知の厚さに対応する1組の基準特徴と前記受けた反射した単色性放射線の前記検出された特徴を比較し、前記材料層の厚さに対応する出力を生成する手段とを具備していることを特徴とする材料層の厚さ測定装置。

【請求項2】 前記変形する手段が特定の曲率を有する集光反射器に前記材料の層の形状を変形する手段を具備し、前記集光反射器が材料の前記変形した層の前記前部表面を照射する前記単色性放射線を反射する請求項1記載の装置。

【請求項3】 前記変形する手段が一定の曲率半径を有する球面真空チャックを具備し、前記球面真空チャックが前記一定の曲率半径を有する球面の集光反射器に前記材料の層を変形する請求項2記載の装置。

【請求項4】 前記球面真空チャックが隆起した領域のパターンおよび複数の周辺真空ポートを有する無孔性の材料から形成され、真空吸引が前記材料の層を変形するように前記複数の周辺真空ポートで行われる請求項3記載の装置。

【請求項5】 前記球面真空チャックが多孔性の材料から形成され、前記多孔性の材料はガスが浸透可能であり、真空吸引が前記多孔性材料の1領域で行われ、前記材料の層を変形するように前記材料の層が前記多孔性材料の別の領域に付着される請求項3記載の装置。

【請求項6】 前記変形する手段が特定の曲率半径を有する楕円形真空チャックを具備し、前記楕円形真空チャックが前記特定の曲率半径を有する楕円形集光反射器に前記材料の層を変形する請求項2記載の装置。

【請求項7】 前記楕円形真空チャックが隆起した領域のパターンおよび複数の周辺真空ポートを有する無孔性材料から形成され、真空吸引が前記材料の層を変形するように前記複数の周辺真空ポートで行われる請求項6記載の装置。

【請求項8】 前記楕円形真空チャックが多孔性の材料から形成され、前記多孔性の材料はガスが浸透可能であり、真空吸引が前記多孔性材料の1領域で行われ、前記材料の層が前記材料の層を変形するように前記多孔性材料の別の領域に付着する請求項6記載の装置。

【請求項9】 前記照射する手段が、可視光によって前記材料の層の前記前部表面を照射する手段を具備してい

る請求項1記載の装置。

【請求項10】 前記照射する手段が異なる波長の可視単色性光線によって前記前部表面を順次照射する手段を具備し、前記材料の層の厚さが前記異なる波長の1つの倍数である時に生じるあいまいさが除去されている請求項9記載の装置。

【請求項11】 異なる波長の可視単色性光線によって順次照射する前記手段が、  
白色光源と、

視準されたビーム中に前記白色光を視準する手段と、  
異なる波長を通過させる複数の狭帯域フィルタと、  
視準された単色性ビームを形成するために前記視準されたビーム中に一時に1つの前記狭帯域フィルタを順次位置させる手段と、

材料の前記変形した層の曲率半径の中心に前記視準された単色性ビームの焦点を結ばせる手段とを具備し、それによって材料の前記変形した層の前部表面上に前記焦点が結ばれた単色性ビームを導く請求項10記載の装置。

【請求項12】 前記狭帯域フィルタを順次位置する手段が回転可能なフィルタホイール装置を具備している請求項11記載の装置。

【請求項13】 前記フィルタホイールの各回転および各狭帯域フィルタの周期の開始を示す電気出力を供給するために前記回転可能なフィルタホイール装置に関連した電気センサをさらに具備している請求項12記載の装置。

【請求項14】 異なる波長の可視単色性光線によって順次照射する前記手段がモノクロメータを具備している請求項10記載の装置。

【請求項15】 単色性放射線によって前記材料の層の前部表面を照射する手段が、  
白色光源と、

材料の前記変形した層の前記前部表面に向けられた焦点が結ばれたビーム中に前記白色光の焦点を結ばせる手段と、

一時に単色性放射線の1つの選択された波長のみを通過する手段とを具備している請求項1記載の装置。

【請求項16】 前記1つの選択された波長のみを通過する手段が回転可能なフィルタホイール装置を具備している請求項15記載の装置。

【請求項17】 照射するための前記手段がモノクロメータを具備している請求項1記載の装置。

【請求項18】 前記反射された放射線を受けて前記特徴を検出する手段が電荷結合装置を具備している請求項1記載の装置。

【請求項19】 前記検出された特徴を比較する手段において使用された基準特徴の前記セットが前記層の材料の予め定められた厚さおよび想定された光学特性に基づいて計算される請求項1記載の装置。

【請求項20】 前記比較する手段がそこに記憶された

基準特性の前記セットを有するコンピュータを含む請求項19記載の装置。

【請求項21】 前記検出された特徴を比較する手段において使用された基準特徴の前記セットが複数の既知の厚さを有する材料の層から得られた特徴を記憶することによって得られる請求項1記載の装置。

【請求項22】 前記比較する手段がそこに記憶された基準特徴の前記セットを有するコンピュータを具備している請求項21記載の装置。

【請求項23】 前記材料の層が基板上に形成された複数の薄膜層の1つである請求項1記載の装置。

【請求項24】 前記その他の薄膜層が放射線が透過されることを可能にする特性を有し、前記基板が放射線が反射されることを可能にする特性を有し、前記放射線が前記材料の層の前記前部および後部表面から、および前記別の薄膜層の前部および後部表面から、および前記基板の前部表面から反射される請求項23記載の装置。

【請求項25】 測定されるべき前記層の材料がシリコンを含み、前記基板がシリコンを含む請求項24記載の装置。

【請求項26】 前記特徴が干渉性フリンジパターンを含む請求項1記載の装置。

【請求項27】 前記材料の層の前部表面が前記材料の層の前部表面の全開口部表面を含み、前記前部表面を照射する前記手段が単色性放射線の単一ビームによって前記全開口部表面を照射し、前記反射した放射線を受けて前記特徴を検出する手段が前記全開口部表面領域から反射された前記放射線からの前記特徴を受けて検出する手段を具備し、前記比較する手段が前記全開口部表面領域の厚さのマップに対応する出力を発生する請求項1記載の装置。

【請求項28】 前記材料の層がウェーハの前部表面上に形成され、前記ウェーハが集光反射器に変形され、前記照射する手段が、

白色光源と、

前記白色光を空間的に瀘波する手段と、

視準されたビームを形成するための前記空間的に瀘波された白色光を視準する手段と、

前記白色光からの視準された単色性の光を生成する前記視準されたビーム中に配置された手段と、

前記変形したウェーハの曲率半径の中心に前記視準された単色性の光の焦点を結ばせる手段とを含み、それによって前記変形したウェーハの前部表面の全開口部表面の領域上に焦点が結ばれた単色性の光を導く請求項27記載の装置。

【請求項29】 前記反射した放射線を受けて特徴を検出する手段が、

前記変形したウェーハの前部表面の前記全開口部表面の領域から前記反射した放射線を導いて視準したビームを生成する手段と、

前記反射した放射線から前記特徴を検出するための前記視準されたビーム内に配置された電荷結合装置カメラとを具備している請求項28記載の装置。

【請求項30】 前記検出された特徴を比較する手段が、

前記電荷結合装置カメラの出力信号をデジタル化する手段と、

前記基準特性に対応している1組のデジタル化された信号と前記デジタル化された出力信号を比較する手段とを具備している請求項29記載の装置。

【請求項31】 前記反射した放射線を受けて特徴を検出する手段が、

前記変形したウェーハの前記全開口部表面の領域から反射された前記放射線から視準されたビームを生成する手段と、

前記反射した放射線を向け直す前記視準されたビーム内に位置されたビームスプリッタと、

電荷結合装置カメラと、

前記電荷結合装置カメラ上に前記向け直され反射した放射線の焦点を結ばせる手段とを具備している請求項28記載の装置。

【請求項32】 前記比較する手段が、

前記電荷結合装置カメラの出力信号をデジタル化する手段と、

前記基準特徴に対応する1組のデジタル化された信号と前記デジタル化された出力信号を比較する手段とを具備している請求項31記載の装置。

【請求項33】 前記材料の層の厚さに対応している前記特徴が前記変形したウェーハの前部表面の前記全開口部表面の領域から反射された前記単色性放射線に含まれた干渉性フリンジパターン像を具備し、前記反射された放射線を受ける手段が前記干渉性フリンジパターン像を捕らえる電荷結合装置カメラを具備している請求項28記載の装置。

【請求項34】 前記電荷結合装置カメラが、複数の異なる波長で反射された単色性放射線からの干渉性フリンジパターン像を捕らえる請求項33記載の装置。

【請求項35】 整列のためおよび反射率の標準の設定のために放射線を反射する手段が前記変形したウェーハと同じ平面に沿って位置されている請求項34記載の装置。

【請求項36】 前記受けた反射された単色性放射線の検出された特徴を比較する手段が前部表面上に形成された材料の層を有する較正ウェーハを具備し、前記材料の層が前部表面上の複数の異なる既知の厚さを有し、前記複数の異なる既知の厚さが基準特徴の前記セットとして測定され、記憶される請求項35記載の装置。

【請求項37】 前記比較する手段において使用された基準特徴のセットが前記材料の層および前記ウェーハの予め定められた厚さおよび想定された特性に基づいて計

5

算される請求項35記載の装置。

【請求項38】 前部および後部表面を有し、光がそれを透過できる特性を有する材料の層の厚さを測定する装置において、

前記層が前部および後部表面をそれぞれ有する複数の層の1つである場合を含み、

集光反射器が前記材料の層の前記前部および後部表面、前記可能な複数の別の層の前記前部および後部表面、および前記基板の前記前部表面から形成されるように、前記材料の層、前記複数の層の中の別の層、および前記基板を変形する手段と、

視準された光のビームを供給する手段と、

視準された単色性の光のビームに視準された光のビームを変換する手段と、

前記集光反射器の全体の前部表面を照射するように視準された単色性の光の前記ビームの焦点を結ばせる手段とを備え、前記焦点が結ばれた単色性の光は前記材料の層の前記前部および後部表面、および前記可能な複数の層の別の層の前記前部および後部表面と前記基板の前記前部表面から反射され、反射された単色性光線に含まれる干渉性フリンジパターン像を形成するために相互作用し、

さらに、前記含まれた干渉性フリンジパターン像を表示するように電荷結合装置カメラの検出器アレイ上に前記反射した単色性光線を導く手段と、前記アレイによって検出された前記表示された干渉性フリンジパターン像に対応している出力を供給する前記カメラと、

前記電荷結合装置カメラの前記出力をデジタル化する手段と、

前記電荷結合装置カメラの前記デジタル化された出力を受信して記憶された基準反射率データと前記電荷結合装置カメラの前記デジタル化された出力を比較し、前記材料の層の厚さに対応している出力を供給する手段とを具備していることを特徴とする材料層の厚さの測定装置。

【請求項39】 前記変形する手段が真空チャックを具備している請求項38記載の装置。

【請求項40】 前記電荷結合装置カメラの前記検出器アレイ上に前記反射した単色性光線を向ける手段が反射鏡および視準レンズを具備している請求項38記載の装置。

【請求項41】 前記反射された単色性光線が視準された単色性の光の前記ビームの焦点を結ばせる前記手段を通して戻り、電荷結合装置カメラの検出器アレイ上に前記反射した単色性光線を導く手段がビームスプリッタおよび集束レンズを具備し、前記ビームスプリッタが視準された単色性の光の前記ビーム内に位置される請求項38記載の装置。

【請求項42】 放射線が透過されることが出来る特性を有する前部および後部表面を有する材料の層を設け、集光反射器に前記材料の層を変形し、

(4)

6

前記材料の層の厚さに対応している特徴を有する材料の前記変形した層の前部および後部表面から反射される前記単色性放射線によって材料の変形した層の前部表面を照射し、

前記反射した放射線を受け、

この受けた反射された放射線の前記特徴を検出し、既知の厚さに対応している1組の基準特徴と前記得られた反射された放射線の前記検出された特徴を比較し、基準特徴の前記セットと前記検出された特徴の比較に基づいた前記材料の層の厚さに対応している出力を供給するステップを具備している材料の層の厚さを測定する方法。

【請求項43】 前記材料の層層を変形するステップが、前記集光反射器の前部表面を照射している単色性の放射線が軸上で受けられるように反射されるように、球面の真空チャックによって球面の集光反射器に前記材料の層を変形するステップを具備している請求項42記載の方法。

【請求項44】 前記集光反射器の前記前部表面を照射している単色性の放射線がオフ軸が得られるように反射されるように、前記材料の層を変形する前記ステップが楕円形の真空チャックによって楕円形の集光反射器に前記材料の層を変形するステップを含む請求項42記載の方法。

【請求項45】 前記照射するステップが、異なった波長の単色性の放射線によって前部表面を順次照射するステップを含み、前記材料の層の厚さが前記異なる波長の1つの倍数であるときに生じるあいまいさが除去されている請求項42記載の方法。

【請求項46】 前記照射するステップが、白色光を生成し、前記白色光の視準されたビームを形成し、異なる狭い帯域波長の視準された単色性光線を生成するために前記視準された白色光線を濾波するステップを含む請求項45記載の方法。

【請求項47】 前記材料の層の予め定められた厚さおよび想定された光学特性に基づいた基準特徴の前記セットを計算し、基準特徴の前記セットを記憶するステップをさらに具備している請求項42記載の方法。

【請求項48】 既知の厚さの領域を有する材料の基準層を設け、

前記領域の既知の厚さにおける材料の前記基準層の厚さの特徴を測定し、

基準特徴の前記セットとして前記測定された厚さの特徴を記憶するステップをさらに具備している請求項42記載の方法。

【請求項49】 前記照射するステップが単色性放射線の単一ビームによって前記材料の変形した層の全体の前部表面を同時に照射するステップを含み、出力を供給する前記ステップが材料の前記層の全体の前部表面の厚さ

のマップに対応している出力を供給するステップを具備している請求項4記載の方法。

【請求項50】 前記特徴を検出する前記ステップが電荷結合装置カメラを使用して前記特徴の検出を含み、前記カメラが前記特徴に対応する出力信号を供給し、さらに、前記電荷結合装置カメラによって供給された前記出力信号をデジタル化し、基準特徴の前記セットに対応する1組のデジタル化された基準信号と前記デジタル化された出力信号を比較するステップを含む請求項4記載の方法。

【請求項51】 前記検出された特徴が前記材料の変形した層内に反射されるとき前記単色性放射線におけるコヒーレント相互作用によって生成された干渉性フリンジパターン像であり、この干渉性フリンジパターン像が前記反射した放射線中に含まれ、前記電荷結合装置カメラが前記複数の異なる点で前記材料の層の厚さを決定するために複数の異なる点で前記干渉性フリンジパターン像を測定している請求項50記載の方法。

【請求項52】 前記材料の層の厚さに対応している前記出力によって前記材料の層の前記前部表面上の化学的マイクロ研磨処理を実行し、前記材料の層の厚さが予め定められた厚さに対応するまで順次上記ステップを反復するステップを付加的に具備している請求項4記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、薄膜層の厚さ測定を行う装置および方法に関し、特に集光反射器にウェーハを変形することによってシリコン/二酸化珪素/シリコン( $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{Si}$ )構造半導体ウェーハ上の薄膜層の厚さ測定を行う装置および方法に関する。

【0002】

【従来の技術】本発明にとって特に実際である特定の適用において、典型的に $\text{Si}/\text{SiO}_2/\text{Si}$ のサンドイッチ構造から成る絶縁体上のシリコン(SOI)の半導体ウェーハはそれぞれ2つのシリコン(Si)ウェーハの1表面上の二酸化珪素( $\text{SiO}_2$ )フィルムを成長させ、高温で2つの二酸化珪素フィルム表面を接合することによって形成される。例えば二酸化珪素のような別の材料が絶縁体材料に使用され、別の材料がウェーハ材料に使用されてもよい。このような適用において、サンドイッチ構造における2つのシリコンウェーハの1つの外側の表面は機械的に研磨され、数ミクロンの平均の厚さにされる。この機械的な研磨は、この1シリコンウェーハあるいはこの外側のシリコン層の厚さの大きな空間的な変化を生じる。これらの空間的な変化を減少させるために、全体のウェーハ表面上のこの外側のシリコン層における厚さの非均一性を示す厚さエラーマップが、例えばマイクロ研磨処理を開始するために要求される。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】マイクロ研磨によってこの層の表面を薄くし、平滑にすることによって外側のシリコン層の厚さにおける空間的な変化を測定するシーケンスは、全体の外側のシリコン層が所望な厚さを達成する前に何回も実行されることが必要である。コストを減少し、生産を増加するため、60秒間でウェーハ表面上の少なくとも400の地点の測定することが望ましい。

【0004】しかしながら、現在市販の装置は典型的に一点のみの薄膜層の厚さの測定を行っている。これらの装置は単色性光線によって薄膜層の表面を局部的に照射するために焦点を結んだレンズあるいはファイバの束を使用し、各点における表面スペクトル反射率を測定するために格子あるいはプリズム分光器を使用する。全ての場合において、この表面スペクトル反射率データは照射ビームのfナンバーによって生じた入射角における変化のために数値的に補正されなければならない。現在市販の装置は、制御された方法で測定装置あるいはウェーハを動かすことによってSOI半導体ウェーハの外側のシリコン層のような全体の薄膜層をカバーするように拡張されることができる。しかしながら、外側のシリコン層上の一点におけるSOI半導体ウェーハの外側のシリコン層の厚さを決定するこれらの装置のために要求された時間は約数分間であり、少なくとも400の測定点を有する全体の外側のシリコン層が有効なウェーハ生産に所望な時間をはるかに超過する。それ故、経済的で非常に正確な方法であり、しかも有効にSOI半導体ウェーハの外側のシリコン層全体のような薄膜層上で薄膜層全体の厚さの測定を実行することは望ましい。

【0005】本発明の目的は、薄膜層の厚さを測定する有効な手段を提供することである。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明は、例えば半導体ウェーハの全体の薄膜層の厚さを効果的に決定する装置および方法を含む。この薄膜層の厚さにおける非均衡性は、ウェーハの表面の全開口部の反射率特性を測定し、数値的な反復あるいは既知の薄膜層の厚さを有する校正ウェーハを使用することによって基準反射率データに対して測定された反射率データを比較することによって得られる。

【0007】半導体ウェーハ表面の全開口部上の反射率特性を効率的に測定するため、濾波された白色光源が複数の異なる波長で一連の単色性光線を生成するために使用される。これらの単色性光線はウェーハの全表面上に順次投影され、ウェーハ構造内の物理的な境界で反射されるとき、この光におけるコヒーレント相互作用を生ずる。これらの相互作用の結果として、干渉性フリンジパターンはそれぞれ順次投影されたビーム、すなわち各波長のウェーハの照射された表面上に通常形成される。しかしながら、ウェーハ表面上に単色性光線を投影する前

に、ウェーハは集光反射器に変形される。このように、それぞれ順次投影された単色性光線は、ウェーハの照射された表面上に形成される干渉フリンジパターンを有しないで変形したウェーハから反射される。しかしながら、干渉性フリンジパターンの映像はそれぞれ反射した単色性光線に含まれている。

【0008】それぞれ反射した単色性光線は、例えば電荷結合装置（CCD）カメラの検出器アレイ上にそれぞれ対応している干渉性フリンジパターン像を投影するレンズシステムによって集められ、これらの各像は全開口部において捕らえられる。干渉性フリンジパターン像は、それぞれ投影された干渉性フリンジパターン像に対応するCCDカメラ検出器における画素をデジタル化することによって捕らえられる。全体のウェーハ表面の反射率マップは、この捕らえられた干渉性フリンジパターン像から生成される。複数の反射率マップは、 $2\pi$ よりも大きい位相の厚さを有する薄膜層から生ずる厚さのあいまいさを除去するためにそれぞれ測定されたウェーハから生成される。

【0009】ウェーハに関する基準反射率データは、理論的な計算あるいは校正ウェーハの使用によって得られる。理論的な方法は、ウェーハ材料の本質的な光学特性に関する推定値に基づいた数値計算による基準反射率特性より成る。代りに、既知の薄膜層の厚さのプロファイルを有する校正ウェーハは、測定されるウェーハを構成するために使用された材料の同じパッチから構成される。本発明の測定方法にこの測定ウェーハを使用することによって、基準反射率データは正確に得られる。測定された反射率データと基準反射率データとの間の比較は、コンピュータによって実行される。この比較の実行に関して、コンピュータは薄膜層の厚さのマップあるいはウェーハの全開口部上の薄膜層の厚さの非均衡性のマップを供給する。

【0010】本発明のその他の目的、特徴は、特許請求の範囲および添付図面と共に以下の詳細な説明から当業者に明らかとなるであろう。

【0011】

【実施例】半導体ウェーハ24の薄膜層の厚さを測定する装置は、全体が参照符号1によって図1に示されている。説明のため、SOI半導体ウェーハ24の外側のシリコン層の厚さの測定が記載されている。

【0012】装置1は、集光レンズ12を通してハロゲンランプ10によって照射されている円形開口部14を有するプレート13を含む空間的にフィルタ処理された白色光源を備えている。開口部14を通過する光は、視準された光のビーム15を形成するために視準レンズ16に入射する。開口部14の寸法は装置1の視準された光の部分における画角を決定し、開口部14の方位は開口部の映像がSOIウェーハ24上に投影されることを可能にするように選択される。集光レンズ12は光ファイバガイドによって置換

できることに注目されるべきである。

【0013】白色光源および視準レンズ16によって生成された視準されたビーム15は、半分の帯域幅が30乃至50オングストロームの一連の狭い帯域のフィルタ17によってスペクトル的に濾波される。一連のフィルタ17は回転フィルタホイール装置18の周縁に位置され、それによって対応している一連の視準された単色性光線19が生成される。これらの視準された単色性光線19の波長は、典型的に550nm乃至950nmの範囲である。視準されたビーム15の通路におけるフィルタホイール装置18の配置は、開口部14の寸法によって定められた画角によって生じた濾波されたビーム19のスペクトルの広がりをも最小にする。1対の電子信号32は、デジタル回路34に対するタイミング基準33として作用するようにフィルタホイール装置18によって発生される。これらの信号の1つはフィルタホイール回転の開始を示し、他の信号は各フィルタ周期の開始を示す。それぞれ視準された単色性光線19は軸上のビームスプリッタ60に向けられ、それぞれ視準された単色性光線の一部分61は第2の視準レンズ20に向けて送られる。

【0014】第2の視準レンズ20は、この第2の視準レンズ20の焦平面における点21に視準された各単色性光線の透過部分61の焦点を結ばせる。この焦点21は、球面真空チャック70の半径の中心に全く対応する。球面真空チャック70は、球面反射コンデンサにSOIウェーハ24を変形するように作用する。このように、変形したSOIウェーハ24は、第2の視準レンズ20の焦点21あるいは真空チャック70の曲率半径の中心21に焦点が結ばれる単色性光線によって照射され、光線は焦点21あるいは中心21に反射して戻される。

【0015】球面真空チャック70は、真空ポンプ23の使用によってSOIウェーハ24を変形する。この真空ポンプ23は、SOIウェーハ24が接着する吸引装置を提供する。図2を参照すると、図1に示された1つのタイプの球面真空チャック70が詳細に示されている。このタイプの真空チャック70はアルミニウムあるいはその他の無孔性材料から形成され、平滑な表面74によって取囲まれた一段高い領域75の全体を参照符号72と示されたパターンを有する。“ベッドオブネイル (bed of nails)”としても知られているこの隆起した領域のパターン72および平滑な表面74は、所望の球面曲率半径を有する。複数の周辺真空ポート76は、ウェーハが領域75の上部に吸引して下げられるようにパターン72の領域75間に配置される。典型的に、直径4.0インチのウェーハは1メートルの曲率半径の反射コンデンサを形成するために中央で約1.25ミリメートル変形させなければならない。同様に、直径8.0インチのウェーハは約5ミリメートル変形させなければならない。このような方法によるSOIウェーハの変形はウェーハにおいて顕著な応力を生成せず、ウェーハの層の間では剥離を生じさせない。ウェ

11

ーハの輪郭78は、固定真空シールを確実にするように隆起した領域のパターン72の外側の平滑な表面74上に広がるように示されている。ウェーハは、典型的に約1ミリメートル隆起した領域のパターン72の外側に広がるように示されている。さらに図2には、平滑な表面74上に位置された1対の基準整列マーク77および1対の基準反射表面79が示されている。これらの基準77および79は、それぞれ以下説明されるようにウェーハ整列を助け、反射率の標準を設定する。

【0016】図3を参照すると、球面真空チャック70はウェーハ24を変形するプロセスについて示されている。主真空ポート80は、真空チャンバ82によって球面真空ポート76へのアクセスを供給する。主真空ポート80は図1に示された真空ポンプ23に接続され、それによって球面に変形された位置でウェーハ24を維持するように吸引する。

【0017】図2および3の球面真空チャック70は、図4および5に示されるように多孔性材料から形成される球面真空チャック84のようなその他のウェーハ保持手段によって置換される。このタイプの真空チャック84はセラミックあるいは任意の他の剛性多孔性材料から形成される。このような剛性の多孔性材料のブロック88は、所望の球面曲率半径を有する表面86を有する。この剛性堅い多孔性材料ブロック88は、無孔性材料ベース90に接合される。図5に示されるように、無孔性材料ベース90は、真空チャンバ94へのアクセスを許容する真空ポート92を維持する。剛性多孔性ブロック88はガスを浸透できるので、ブロック88の表面86上に位置されたウェーハ24は、真空チャンバ94中に真空を生じることによってブロック表面86の曲率半径に球面に変化される。このような真空は、真空ポート92が図1に示された真空ポンプ23に接続される時に生成される。

【0018】図6を参照すると、SOI半導体ウェーハ24は、機械的で研磨された外側のシリコン層40、内側の二酸化珪素(SiO<sub>2</sub>)フィルム42およびシリコンウェーハ基板44を具備しているサンドイッチ構造で構成されている。このサンドイッチ構造は3つの境界面46, 48, 50を形成し、外側のシリコン層40上に入射する光は反射される。これらの境界面46, 48, 50の反射特性は、SOIウェーハ24の各層40, 42, 44における材料の本質的な光学および物理的特性に基づく。これらの特性は材料層40, 42, 44の吸収率( $\alpha$ )、屈折率( $n$ )および厚さを含む。SOIウェーハに関して、SiO<sub>2</sub>層42の吸収率( $\alpha_1$ )はゼロであると仮定される。しかしながら、一般に、吸収率であることは可能であり、知られている。

【0019】SOIウェーハ24が図1の装置1に取り付けられ、SOIウェーハ24の表面46が真空チャックの曲率半径の中心21、ここではSOIウェーハの曲率半径の中心21に焦点が結ばれる単色性光線によって照射されるとき、一連のコヒーレントな相互作用はこの光がSOI

12

ウェーハ構造24の3つの材料の境界面46, 48, 50の間で反射されるときに生じる。これらの相互作用は、曲率半径の中心21に反射して戻される単色性光線に含まれる波長依存性干渉フリンジパターン像を生成する。ウェーハ上の任意の点の反射率は、3つの表面の間の多重反射およびそれらの物理的特性 $n_1, \alpha_1, t_1, n_2, \alpha_2, t_2, n_3, \alpha_3$ の大きさによって決定される。SOIウェーハ構造の特有な場合における基板の指標( $n_3, \alpha_3$ )は、両者が単結晶シリコンから形成されるため外側のシリコン層の指標( $n_2, \alpha_2$ )に等しい。任意の波長のウェーハ反射率は、その他全てのパラメータが知られていれば外側のシリコン層の厚さの関数として明確に計算されるが、単一の測定された反射率から厚さを計算する逆の問題はあいまいである。このあいまいさは、外側のシリコン層の厚さが増加されると、位相厚さ( $n_2 t_2$ )としての最大値と最小値の間の測定された反射率のサイクルが $\pi/4$ の倍数で増加するという事実によって生じられる。この倍数値問題は、不可能な単一の反射率測定から $t_2$ の値の計算を明瞭に行う。倍数波長測定の使用は倍数値問題を原理的に克服できるが、材料特性の波長依存性は非常に正確に知られなければならない、そうでなければ大きなエラーが厚さの計算において生じる。

【0020】倍数値問題を克服する別の方法は統計的なものであり、複数の波長における測定された反射率データは同じ波長の計算されたスペクトルデータのライブラリを有する最小2乗最適ベース上で比較される。SOIウェーハの場合において、スペクトルのライブラリは外側のシリコン層の厚さのすべての値に関して計算され、外側のシリコン層の厚さが最小2乗の最良の適合を最小にするように選択される。

【0021】図1を参照すると、波長依存性干渉フリンジパターン像を含んでいる反射した単色性光線は第2の視準レンズ20によって視準され、軸上のビームスプリッタ60の方向に向けられる。ビームスプリッタ60は、最終視準レンズ64に現在の視準された単色性光線61の部分62を向け直す。この最終視準レンズ64は、反射した単色性光線に含まれた波長依存性干渉フリンジパターン像が表示されるCCDカメラ検出器アレイ31上に視準された単色性光線の向け直された部分62を集める。フィルタホイール装置18が視準レンズ16によって生成された視準された光線15の代りにビームスプリッタ60によって向け直された視準された光線62に交替に位置され、画角が狭い帯域フィルタ17によって許容されることに注目されるべきである。

【0022】CCDカメラ検出器アレイ31上の波長依存性干渉フリンジパターン像を表示する別の方法を提供する装置2が図7に示されている。この方式において、真空チャック27はそれが楕円形表面を有することを除いて、それぞれ図2および3と図4および5の真空チャック



13

ク70, 84に等しく、それによって波長依存性干渉フリンジパターン像を含んでいる単色性光線がオフ軸ミラー26に反射されることを可能にする。このミラー26は、最終視準レンズ28の焦平面における点25でもある楕円形真空チャック27の曲率半径の中心25に位置される。このように、波長依存性干渉フリンジパターン像を含んでいる反射した単色性光線は、最終視準レンズ28にオフ軸ミラー26によって向け直される。最終視準レンズ28はCCDカメラ検出器アレイ31上に視準された単色性光線29を投影し、それによって波長依存性干渉フリンジパターン像は表示される。従来のように、フィルタホイール装置18が、画角が狭い帯域フィルタ17によって許容される視準されたビーム29に交替に位置されることに注目されるべきである。この装置2において、モノクロメータがハログゲンランプ10、集光レンズ12、第1の2つの視準レンズ16, 20 および狭い帯域フィルタホイール18を置換し、異なる波長間のモノクロメータのスルーレートが2分の1より小さい20個の異なる波長に及んで十分に高い。

【0023】CCDカメラ検出器アレイ21上の波長依存性干渉フリンジパターン像を表示するために使用された方法の決定は、適当に表示された波長依存性干渉フリンジパターン像を維持するために要求されるビーム強度に依存する。軸上ビームスプリッタ方法の使用は、ビームスプリッタに固有の光学損失によって減少したビーム強度を生じる。別のオフ軸ミラー方法はビームスプリッタの必要性を除去し、それによって4の係数によって光学的スループットを改善する。したがって、波長依存性干渉フリンジパターン像は軸上ビームスプリッタ方法を使用しては適当に表示されない場合、オフ軸ミラー方法が使用されなければならない。

【0024】図8を参照すると、表面上に投影されたCCDカメラ検出器アレイ31がSOIウェーハ映像の輪郭52、1対の基準整列映像の輪郭54および1対の基準反射映像の輪郭56と共に示されている。これらの基準映像54, 56は、それぞれ真空チャック70, 84の表面74, 86上の基準整列マーク77および基準反射表面79によって形成されている。真空チャックの曲率半径の中心21に焦点が結ばれる単色性光線によって照射されるとき、これらの基準77, 79はそれらの表面からの反射を与える。SOIウェーハ波長依存性干渉フリンジパターン像と同様に、\*40

$$M(x, y, t_2) = \left[ \frac{1}{n_{max}} \sum_{n=1}^{n_{max}} [R_m(x, y, \lambda_n) - R_c(\lambda_n, t_2)]^2 \right]^{1/2}$$

このメリット関数は最小あるいは最適な整合が発見されるまで $t_2$ の異なる値に関して評価され、最も好ましい厚さを示す。当然その他のパターンの整合するメリット関するは所望とされる場合に使用される。

【0028】任意の仮定された薄膜定数の未知の変化は、外側のシリコン層の厚さのエラーに関する計算処理

14

\*これらの基準77, 79の映像は反射した単色性光線に含まれ、それによってそれらはCCDカメラ検出器アレイ31上に終局的に投影される。基準整列マーク77はウェーハ整列を助け、基準反射表面79は実際のウェーハ反射率が計算できるようにCCD信号を標準化するように作用する。示されたように、CCD検出器アレイ31は複数のCCD画素57から形成される。

【0025】再び図1を参照すると、CCDカメラ検出器アレイ31上に表示される波長依存性干渉フリンジパターン像は、CCDカメラ30によって捕らえられる。反射率マップは、デジタル回路34の使用によってそれぞれ表示された波長依存性干渉フリンジパターン像に対応するCCD画素57をデジタル化することによって生成される。この未処理の反射率データはCCD画素の感度における変化を除去するために標準化され、任意の次の化学的なマイクロ研磨処理の空間的制限を整合するためにCCD画素57のブロックにわたる信号を平均にすることによって寸法が減少される。SOIウェーハ24の外側のシリコン層40の厚さ( $t_2$ )の決定において、数値計算方法あるいはSOI較正ウェーハのどちらかが使用される。これら両者の方法は、典型的にコンピュータ36の使用を必要とする。

【0026】外側のシリコン層の厚さ( $t_2$ )を決定する数値的方法は、薄膜の定数 $n_1, \alpha_1, t_1, n_2, \alpha_2, t_2, n_3$ および $\alpha_3$ の値の仮定および瀟波された白色光源によって生成された単色性の光に対応している1組の波長に関するスペクトル反射率の計算を含む。この計算は多数の異なる外側のシリコン層の厚さ

( $t_2$ )について行われ、最初の薄膜定数の仮定が正しいとすれば、一度計算される必要があるだけである。この計算は、外側のシリコン層の最も薄い推定値から最も厚い推定値までの反射率の範囲に関する基準値 $R_c(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, t_2)$ のセットを供給する。これらの計算されたスペクトル反射率は、次の式の二乗平均( $r_{ms}$ )のメリット関数を使用するウェーハ上の特定の点の測定された反射率データ $R_m(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, t_2)$ と比較される。

【0027】

【数1】

によって伝播に対するエラーを生ずる。このような1次エラーソースは、ウェーハ開口部上のSiO<sub>2</sub>層42の厚さ( $t_1$ )の知識の不足およびシリコン屈折率( $n_1$ )の分散的な効果を含む。メリット関数の値が大きすぎる場合、不十分な整合を示し、新しく計算されたスペクトル反射率は $t_2$ の厚さの近いセットに関して生成されな

15

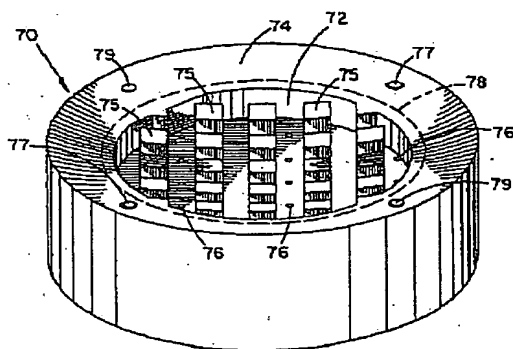
ければならず、外側のシリコン層40の吸収率 ( $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ) および屈折率 ( $n_2$ ,  $n_3$ ) あるいは  $\text{SiO}_2$  層42の屈折率 ( $n_1$ ) および厚さ ( $t_1$ ) によって反復される。

【0029】外側のシリコン層の厚さを決定する第2の方法は、図9に示されたような段のある外側の表面を有するSOI 校正ウェーハ58からのスペクトル反射率のセットを生成することであり、ウェーハの各方形領域59は異なった既知の外側のシリコン層の厚さを有する。ウェーハが外側のシリコン層の厚さの同様な範囲をカバーするために少なくとも500の基準方形を有することは好ましい。このウェーハ58は、探針プロフィロメータを使用してシリコン層の厚さゼロまで外側のシリコン層の厚さに関して計算される。校正ウェーハ58は材料の同じバッチから製造され、測定下のウェーハ24と同じ製造状態にされる。したがって、吸収率および屈折率および分散的特性のような校正ウェーハの本質的な光学特性は、試験されているウェーハ24のそれらに整合すべきである。

【0030】校正ウェーハ58のスペクトル反射率は、本発明の測定方法にこのウェーハを使用することによって得られる。これらのスペクトル反射率はコンピュータ36に記憶され、測定されたSOI ウェーハ24のスペクトル反射率との比較に関する基準として使用されている。測定ウェーハ58は少なくとも500の異なる外側のシリコン層の厚さに関する基準反射率を有し、測定されたSOI ウェーハ24の表面上の任意の点における反射率に最も近接して整合する基準反射率はその点の外側のシリコン層の厚さを示す。

【0031】これらの両者の方法は60秒以内で外側のシリコン層の厚さの400の点の測定を行う目的に応じ

【図2】



16

るが、校正ウェーハ方法は測定ウェーハ58と測定されるSOI ウェーハ24の間の本質的な光学特性の類似性のために数値的な方法よりさらに正確かもしれない。しかしながら、校正ウェーハ方法は、基本的なウェーハ処理が本質的に変えられる場合、新しい校正ウェーハ58を生成するためにオンライン生産能力を必要とする。

【0032】本発明の技術的範囲から逸脱せずに上記説明された装置および方法に変更が可能であり、前述された目的が効果的に得られることが認められる。上記説明に含まれ添付図面に示されたものは全て単なる例示として説明され、それによって本発明の技術的範囲が限定されるものではない。

【図面の簡単な説明】

【図1】軸上半導体ウェーハ薄膜層の厚さの測定装置の概略図。

【図2】球面真空チャックの斜視図。

【図3】ウェーハを変形する処理における球面真空チャックの断面図。

【図4】多孔性材料型の球面真空チャックの斜視図。

【図5】ウェーハを変形する処理における多孔性材料の球面真空チャックの断面図。

【図6】SOI 半導体ウェーハの各層の拡大図。

【図7】オフ軸半導体ウェーハ薄膜層の厚さを測定する装置の概略図。

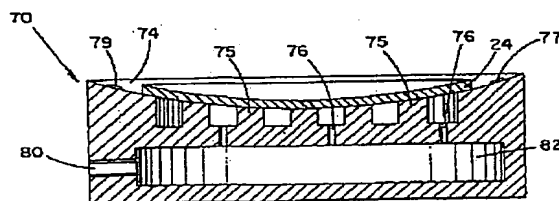
【図8】ウェーハ映像の輪郭および複数の基準表面映像の輪郭を示すCCDカメラ検出器アレイの平面図。

【図9】段のある外側のシリコン層表面を有するSOI 半導体校正ウェーハの平面図。

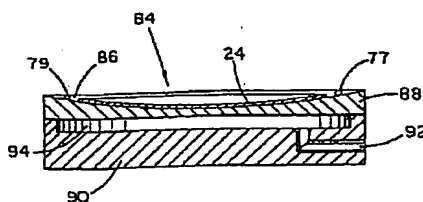
【符号の説明】

10…光源、18…回転ホイール、70…真空チャック。

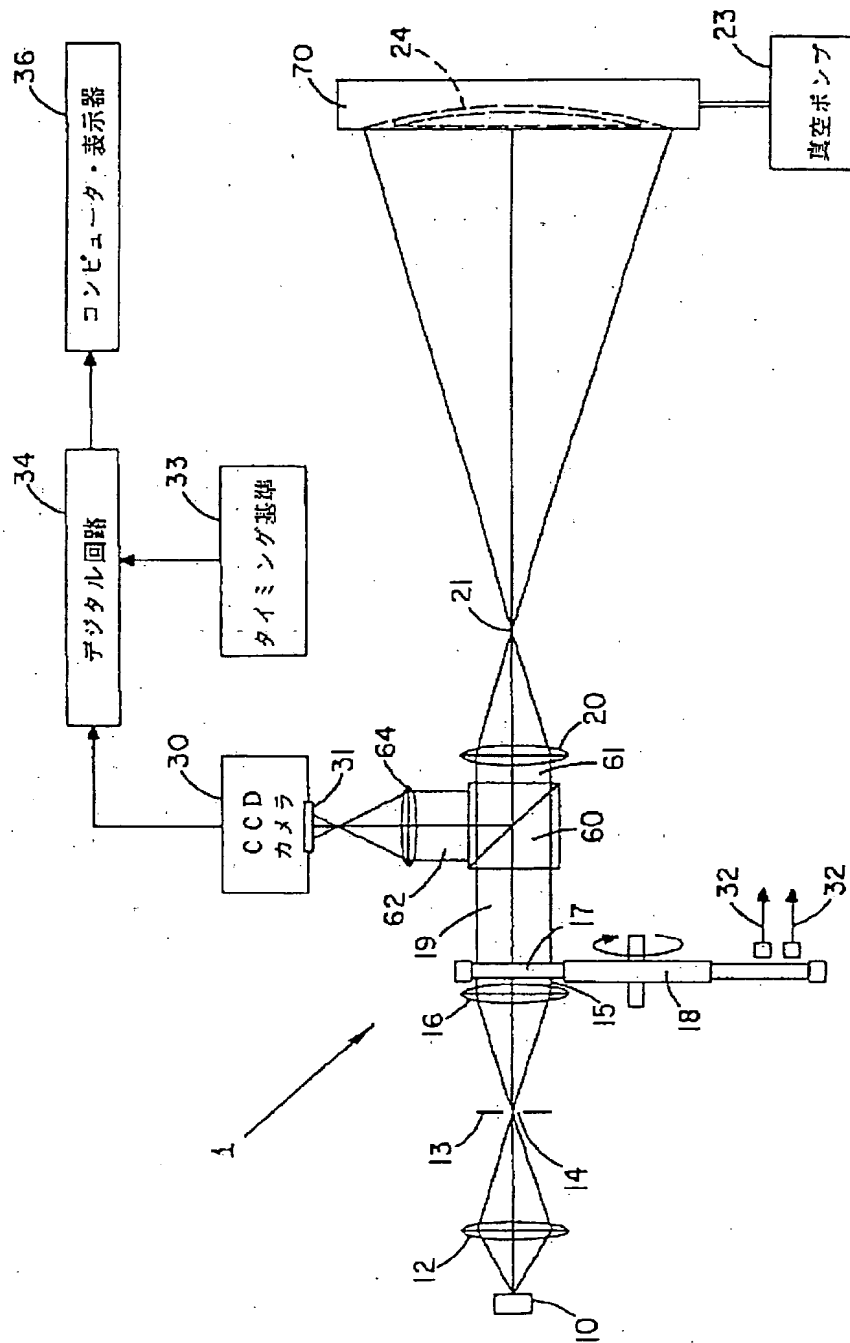
【図3】



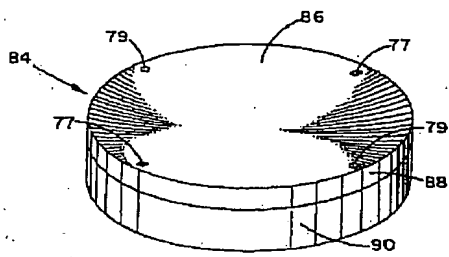
【図5】



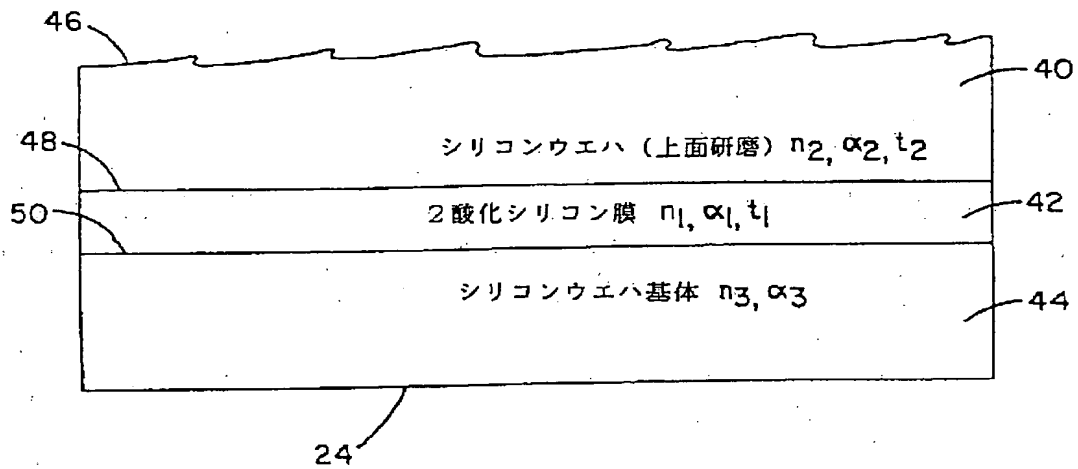
【図1】



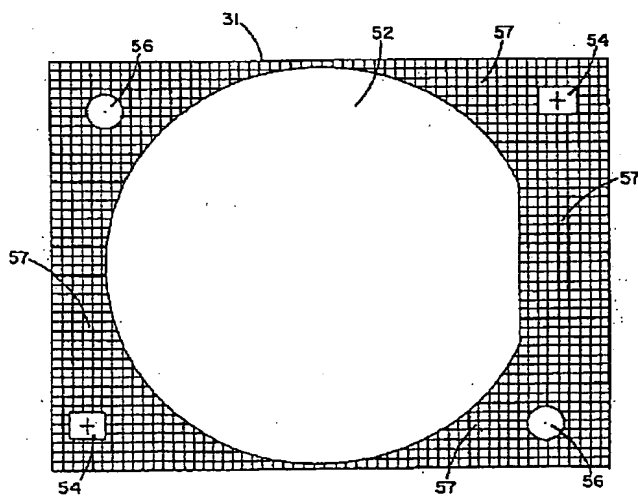
【図4】



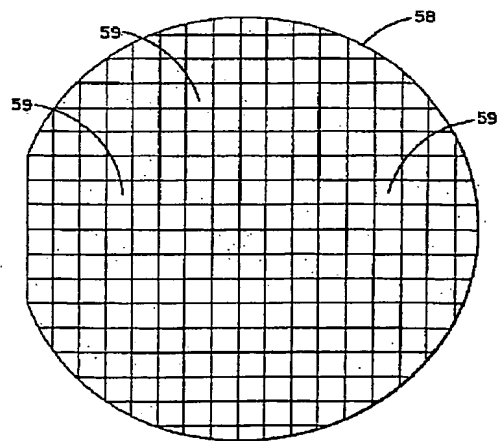
【図6】



【図8】



【図9】



【図7】

